

## Работы лаборатории неустановившихся режимов работы дизелей

Проблема совершенствования показателей работы ДВС в условиях эксплуатации, когда двигатели в течение 90 – 95% всего своего моторесурса работают на неустановившихся режимах, давно привлекала внимание кафедры. И вот в 1961 г. было решено создать лабораторию, которая занималась бы исследованиями рабочих процессов дизелей при неустановившихся режимах их работы (НУР), разрабатывать методы и средства совершенствования их показателей в таких условиях. Создателем лаборатории стал доцент кафедры, позднее – профессор, кандидат технических наук Леонов Олег Борисович, а научным консультантом работ стал профессор, доктор технических наук Вырубов Дмитрий Николаевич.

Под лабораторию было выделено соответствующее помещение (испытательный бокс и пультовая – одновременно и лаборантская комната). В качестве объекта исследования был выбран дизель Свердловского машиностроительного завода У1Д6250ТК (6ЧН15/18), имевший в те времена, да и на сегодняшний день, весьма широкое распространение как в народном хозяйстве, так и в оборонной технике. Вместе с тормозным нагрузочным устройством установка могла имитировать разгонные характеристики 6-ти тонного бронетранспортёра или крупного промышленного трактора, режимы наброса нагрузки на установку дизель – генератора, что и определило выбор оснащения стенда. В качестве основных режимов, которые предполагалось исследовать, были выбраны важнейшие для двигателей транспортного назначения режимы разгона установки двигателя с потребителем и режимы наброса (приёма) нагрузки (важнейшие для дизель – генераторных установок). В создании стенда, его отладке, доводке активное и основное участие принимали инженер кафедры Боровицкий Виктор Иванович, механики Солдатов Николай Константинович, а несколько позже – Матанов Андрей Аронович и Никушин Валерий Иванович и др.

С первых шагов создания экспериментальной базы стало очевидно, что обычное, стандартное исследовательское оборудование не может позволить достигнуть поставленных целей. Потребовалось создание новых, иногда принципиально новых измерителей, преобразователей, регистраторов параметров и показателей работы. Основным разработчиком средств и методов измерений и регистрации являлся инженер Арапов Виктор Викторович. Благодаря его разработкам удалось в течение нескольких лет создать уникальный комплекс испытательного оборудования для измерения и регистрации параметров быстротекущих процессов при реализации исследовавшихся режимов, в том числе достаточно кратковременных (например, 2,2 секунды разгона дизеля без потребителя и нагрузки от минимальной частоты вращения до максимальных оборотов холостого хода). При этом были решены следующие основные задачи. Одновременная регистрация до 24 параметров работы двигателя с записью их на светочувствительной бумаге или плёнке на двух шлейфных осциллографах, работа которых была синхронизирована системой одновременного управления (авторское свидетельство СССР № 373533. Устройство для регистрации на шлейфовом осциллографе исследуемого процесса./О. Б. Леонов, Н. К. Солдатов, В. В. Арапов, Н. Н. Патрахальцев, В. И. Боровицкий. Бюллетень изобретений № 14, 1972). Причём, в управлении предусматривалось время на разгон протяжных механизмов осциллографов, с последующим включением управления двигателем и тормозом для реализации исследуемого режима. Такое решение позволило регистрировать как короткие, так и длительные НУР с приемлемой растяжкой циклов во времени. Устройство позволяет получить на диаграмме исследуемого процесса отметки тарированного давления, температуры и т.д., что часто является единственным средством определения нулевого значения (например, при применении записи с пьезокварцевым датчиком). Для регистрации разных параметров всегда приходится применять разные системы датчик – преобразователь – регистратор. Например, пьезокварцевые, индуктивные, ёмкостные контактные датчики, а регистраторы – электронные, шлейфные, оптические и т.д. Поскольку каждая такая система обладает собственной постоянной времени (задержкой во времени срабатывания) и

их величины сравнимы со многими регистрируемыми процессами, то потребовалось внесение соответствующих корректировок в регистрируемые показатели, например, использовались ячейки задержки по времени для того, чтобы все регистрируемые параметры имели одинаковые или близкие постоянные времени (естественно, близкие к наиболее инерционным).

Важной проблемой являлась тарировка датчиков. В данных условиях требовалась не только предварительная, как обычно, статическая тарировка, например, давления в цилиндре, но также и динамическая. Оригинальным явилось предложение и его реализация получения тарировочного сигнала давления во время самого процесса регистрации данного параметра (А. с. СССР № 417700. Датчик давления / О. Б. Леонов, В. В. Арапов, В. Г. Павлюков, Н. Н. Патрахальцев. БИ N 8, 1973).

В ряде случаев, для уменьшения объёма регистрируемой информации целесообразно записывать, например, индикаторные диаграммы такие, в которых исследуемые параметры достигли или превысили установленный уровень (А. с. СССР. N419842. Устройство для регистрации показателей двигателей / Леонов О. Б., Арапов В. В., Шувалов А. Г., Патрахальцев Н. Н./ БИ N10, 1974). Благодаря применению такого решения повышается точность и снижается трудоёмкость обработки результатов.

Для исключения погрешностей, связанных с возможным разбросом характеристик двух датчиков одного и того же назначения, была применена система регистрации, например, мгновенного расхода топлива во время разгона с помощью единого расходомера, но по двум параллельным цепям, в одной из которых устанавливалась ячейка регулируемого запаздывания во времени (а. с. СССР № 377636. Устройство для измерения мгновенного расхода топлива / Патрахальцев Н. Н., Леонов О. Б., Шувалов А. Г., Арапов В. В. и др./Бюллетень изобретений № 18, 1973).

Для решения важной проблемы точной и с достаточно малым шагом регистрации углов поворота вала в условиях неустановившегося режима и интенсивных крутильных колебаний участков вала была применена система магнитной регистрации, с предварительной записью и последующим снятием сигналов с магнитной ленты с помощью магнитной головки (а. с. СССР № 248382. Устройство для регистрации на осциллографе углов поворота вала /В. В. Арапов, В. И. Боровицкий, О. Б. Леонов, Н. Н. Мануйлов, Н. Н. Патрахальцев, Н. К. Солдатов. Бюллетень изобретений № 23, 1968).

Важнейшим условием успешного проведения исследований быстротекущих процессов при необходимости регистрации множества параметров являлась автоматизация процессов управления и стендом, и измерительно – регистрирующей аппаратурой (а. с. СССР. № 918809. Стенд для исследования рабочего процесса дизеля / О. Б. Леонов, В. В. Арапов, И. В. Федотов, В. И. Никушин, А. М. Савенков, БИ № 13, 1983. А. с. СССР № 472275. Стенд для динамических испытаний ДВС / Патрахальцев Н. Н., Леонов О. Б., Каплан В. И., Руденко В.Ф., Арапов В. В./ БИ № 20, 1975).

При изучении особенностей рабочих процессов дизеля при неустановившемся режиме работы аспирант Мануйлов Николай Николаевич показал, что как под действием углового ускорения вращения коленчатого вала, так и из-за особенностей протекания рабочего процесса в цилиндре существенно изменяется картина протекания суммарных сил. Возрастают как суммарные силы, действующие на поршень, так и динамика их приложения, показал, что коэффициенты перегрузок могут достигать значительных величин (Мануйлов Н.Н. Влияние переходных процессов скоростного режима на нагрузки кривошипно-шатунного механизма четырехтактного дизеля. Диссертация на соиск. уч. степ. к.т.н. 1970г.).

Существенные искажения индикаторных диаграмм при НУР, вызванные как изменением теплового состояния двигателя, так и особенностями топливоподачи, воздухообмена и т.д. позволили классифицировать возможные протекания циклов, предложить методику расчёта цикла дизеля при НУР (Патрахальцев Н.Н. Особенности рабочего процес-

са 4-тактного дизеля с ГТН при неустановившемся режиме. Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. 1971). Особое внимание было обращено на появление и протекание переходных процессов в линиях низкого и высокого давления топливной системы дизеля, на снижение эффективности работы дизеля из-за таких переходных процессов. В результате таких работ были предложены ряд систем топливоподачи, которые стали называться системами топливоподачи с регулированием начального давления (РНД). Ряд из них был защищён авторскими свидетельствами СССР и зарубежными патентами (А.с. N339213 СССР. Система подачи топлива в ДВС / В. В. Арапов, О. Б. Леонов, Н. Н. Мануйлов, В. Г. Павлюков, Н. Н. Патрахальцев, Н. К. Солдатов (СССР), 1972. Патент Франции N 2180248. - / Systeme d injection de carburant pour moteurs a combustion interne. / на франц. яз./ Арапов В.В., Леонов О.Б., Павлюков В.Г. и др. / 5 соавт. 1973. Патент США N 3818882. Fuel system of internal combustion engine / на англ. яз./ Леонов О.Б., Арапов В.В., Павлюков В.Г. и др. / 5 соавт./ 1974. Патент Чехословакии N 154713 / Provodni palivovi system pro spalovani motori / на чешском яз./ Патрахальцев Н.Н., Леонов О.Б., Арапов В.В., Павлюков В.Г. и др. / 5 соавт./ 1974. Патент Италии по заявке 89516/a/721977. Sistema di alimentazione di carburante a combustione interna / на итальянском яз./ / Патрахальцев Н.Н., Арапов В.В., Леонов О.Б., Павлюков В.Г. А. с. N486139 СССР. Система топливоподачи с регулируемым начальным давлением / Леонов О. Б., Павлюков В. Г., Патрахальцев Н. Н., Арапов В. В., Солдатов Н. К. (СССР). БИ N 36, 1975. А.с. 586139 СССР. Система подачи топлива в ДВС. / Патрахальцев Н.Н., Леонов О.Б., Павлюков В.Г., Арапов В.В. / не публик./ А. с. 646080 СССР. Система подачи топлива в двигатель внутреннего сгорания / Леонов О. Б., Арапов В. В. 1979).

К числу оригинальных разработок этого периода относится устройство регулирования давления, использованное в системе регулирования начального давления. Устройство позволило проводить регулирование как по сигналу частоты вращения, так и по сигналу нагрузки (положения рейки топливного насоса) (А. с. СССР № 244004. Устройство для автоматического регулирования давления / О. Б. Леонов, В. И. Боровицкий, В. В. Арапов, Н. Н. Мануйлов, Н. Н. Патрахальцев, Н. К. Солдатов. БИ N 17. 1968. А.с. N355883. СССР. Регулятор давления / Патрахальцев Н.Н., Леонов О.Б., Павлюков В.Г. и др. БИ N 18, 1972. А.с. СССР № 968488. Регулятор давления / О. Б. Леонов, В. Г. Павлюков, В. П. Попов, В. В. Арапов, И. В. Федотов. 1983).

Выявленные изменения суммарных сил приводят к соответствующим изменениям условий смазки, условий нагружения подшипников коленчатого вала, что показал в своей работе аспирант Шкарупило Анатолий Яковлевич (Шкарупило А.Я. Влияние неустановившихся режимов на условия работы подшипников коленчатого вала четырехтактного дизеля с ГТН. Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. 1975.).

Аспирант Соколов Юрий Александрович в своей диссертации («Эффективность работы дизеля при переходном процессе разгона». 1975) показал существенность влияния переходных процессов в системах дизеля при реализации неустановившихся режимов разгонов, существенные потери в динамике разгонов, предложил дальнейшие усовершенствования системы топливоподачи дизеля (А. с. СССР №483931. Топливный насос высокого давления со ступенчатым впрыском / Леонов О. Б., Патрахальцев Н. Н., Арапов В. В., Соколов Ю. Н., Солдатов Н.К. 1975. А. с. СССР № 488931. Топливный насос высокого давления со ступенчатым впрыском/ О.Б. Леонов, В. В. Арапов, Н. К. Солдатов, Н. Н. Патрахальцев, Ю. А. Соколов(СССР). БИ N 39, 1975. А. с. СССР № 661132. Муфта привода топливного насоса высокого давления / Патрахальцев Н.Н., Леонов О. Б., Ефимов А.В., Соколов Ю.А., Дмитриев Ю.Д. Бюл. «Открытия...», N 17, БИ N 5, 1979).

Особую сложность составляли исследования процессов воздухообеспечения дизелей с ГТН при неустановившихся режимах работы. Такое исследование провёл Долинский Геннадий Иванович (диссертация на тему: «Исследование наполнения цилиндров быстроходного комбинированного дизеля на неустановившихся режимах». 1976). Он выявил ряд закономерностей нестабильности и неравномерности наполнения цилиндров дизеля при

НУР, что удалось достигнуть благодаря оригинальным «надстройкам» на системе воздухооборудования дизеля.

Аспирант Павлюков Владимир Григорьевич в своей диссертации («Повышение эффективности и экономичности работы дизеля в переходных процессах разгона». 1976) показал существенность воздействия на эффективность работы дизеля метода регулирования начального давления топлива в топливной системе разделённого типа исследованного дизеля. Ряд решений был также защищён авторскими свидетельствами (А. с. СССР № 735817. Устройство для подачи топлива в ДВС / Леонов О. Б., Павлюков В. Г., Арапов В. В., Попов В. П. БИ № 19, 1980. А. с. СССР № 968503. Устройство для подачи топлива в ДВС / Круглов М. Г., Леонов О. Б., Павлюков В. Г., Арапов В. В., Попов В. П., 1983. А. с. СССР № 842210. Система подачи топлива / О. Б. Леонов, В. Г. Павлюков, В. В. Арапов, БИ N 24, 1982. А. с. СССР № 974850. Система подачи топлива в ДВС / Леонов О. Б., Павлюков В. Г., Арапов В. В., Федотов И. В., 1983. и др. а. с., указанные выше).

Аспирант Галлеев Вильсдор Лукманович в своей диссертации («Влияние изменения угла опережения впрыска топлива на работу турбокомпрессора и переходные режимы двигателя с газотурбинным наддувом». 1980) предложил и исследовал метод повышения эффективности разгона турбокомпрессора изменением параметров топливоподачи (а. с. СССР № 690868. Способ работы дизеля / Леонов О. Б., Арапов В. В., Галлеев В. Л. БИ N 1, 1980.) и показал, что в ряде случаев целесообразно «пожертвовать» экономичностью ряда циклов дизеля, но быстрее вывести турбокомпрессор на конечный режим. Это позволяет ускорить разгон, уменьшить расход топлива на операцию разгона.

Аспирант Попов Владимир Петрович в своей диссертации («Улучшение экономичности четырёхтактного дизеля с газотурбинным наддувом управлением начальным давлением топлива в нагнетательной магистрали системы топливоподачи». 1981) показал возможности повышения эффективности разгона и дизеля и турбокомпрессора регулированием начального давления топлива (А. с. СССР № 714033. Система подачи топлива в ДВС / Леонов О. Б., Арапов В. В., Попов В. П. БИ N 5, 1980. А. с. СССР № 898800. Система подачи топлива в ДВС / Леонов О. Б., Арапов В. В., Попов В. П. 1982. А. с. СССР № 968504. Топливоподающая система для ДВС / Леонов О. Б., Арапов В. В., Федотов И. В., Попов В. П. 1983), что позволяет ускорить разгоны двигателя с потребителем при сохранении приемлемой экономичности.

Метод дополнительной подачи топлива на линии расширения для более эффективного разгона турбокомпрессора при НУР дизеля (А. с. СССР № 750117. Двигатель внутреннего сгорания / Леонов О. Б., Попов В. П., Тарханов О. А., Арапов В. В. БИ N 27, 1980. А. с. СССР № 827829. Двигатель внутреннего сгорания / Леонов О. Б., Арапов В. В., Тарханов О. В., Никушин В. И., Великий Ю. А. БИ N 17, 1981) исследовал аспирант Тарханов О. А. в диссертационной работе «Влияние дополнительной подачи топлива на исходном режиме на работу свободного турбокомпрессора и эффективность разгона дизеля», 1981 г.

Особый метод повышения качества переходных процессов дизель – генераторов регулированием не только параметров дизеля, но нагрузки исследовал аспирант Руденко Владимир Фёдорович (диссертация на тему: «Повышение качества переходных процессов высокофорсированных тепловозных дизель-генераторов управлением нагрузкой». 1982).

Аспирант Федотов Игорь Владимирович расширил области применения систем топливоподачи с регулированием начального давления на частичные режимы работы («Улучшение топливной экономичности автотракторных дизелей с газотурбинным наддувом при работе на частичных и неустановившихся режимах». 1983). (А. с. СССР № 884376. Способ работы ДВС с газотурбинным наддувом / Леонов О. Б., Арапов В. В., Федотов И. В., Тарханов О. А. 1982).

Дальнейшие усовершенствования метода воздействия на процессы топливоподачи и работу ГТН путём регулирования начального давления топлива выполнил аспирант Мурай Сергей Владимирович. (Диссертация «Повышение эффективности работы дизель-

генераторов переменного тока за счет применения топливной аппаратуры с регулируемым начальным давлением». 1989).

Соискатель кафедры Шкаликова Валентина Петровна в своей диссертации «Применение в высокооборотных дизелях нефтяных дизельных топлив с добавкой легких синтетических парафиновых углеводородов», 1987, показала целесообразность воздействия на протекание рабочих процессов дизелей, в том числе и при НУР, добавкой лёгких синтетических парафиновых углеводородов. Высокие их качества по испаряемости, по воспламеняемости, по повышенному водородному числу позволяют усовершенствовать качество циклов работы дизеля и при неустановившихся режимах (А.с. СССР № 1278474. Способ работы дизеля / Иващенко Н.А., Леонов О.Б., Рогов В.С., Шкаликова В.П., Газарян Г.Т. БИ N 47, 1986. А. с. СССР № 1113401. Топливо для дизеля / О. Б. Леонов (СССР), 1984. А. с. СССР № 1106213. Система подачи смеси двух топлив в дизель / Патрахальцев Н.Н., Леонов О.Б., Иващенко Н. А., Рогов В. С., 1984. А.с СССР № 958684. Система подачи топлива в дизель / О.Б.Леонов, Н.А.Иващенко, В. С. Рогов, В. П. Стрелков. БИ N 34, 1982.)

Соискатель кафедры Фомин Алексей Васильевич в своей диссертации исследовал важнейшие характеристики дизеля – характеристики пуска, особенно в условиях низких температур окружающего воздуха. (Диссертация на тему: «Совершенствование режима пуска автотракторных дизелей воздействием на процессы топливоподачи». 1990.) (А. с. СССР № 331185. Способ пуска дизеля / О. Б. Леонов, Н. Н. Патрахальцев, В. В. Арапов. БИ N 9, 1969.)

Дальнейшему исследованию динамической нагруженности дизелей при неустановившихся режимах работа посвящена диссертация Грызова С .Н. «Совершенствование расчетно-экспериментальных методов оценки нагруженности коленчатого вала от крутильных колебаний на неустановившихся режимах работы автотракторных ДВС». 1992.

По существу до начала перестройки в стране группа под руководством профессора Леонова О.Б. вела работы по хозяйственным договорам и по проблемам госбюджетной тематики.

Научный задел работ, выполненных под руководством профессора О.Б. Леонова при консультациях их профессором Д.Н. Вырубовым до настоящего времени развивается, используется их учениками в разных научных школах РФ.

По результатам работы лаборатории опубликованы десятки статей, тезисов конференций, подготовлены учебные пособия, материал исследований вошёл в учебники по ДВС.